

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

(19)



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11)

Veröffentlichungsnummer:

0 045 509
B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45)

Veröffentlichungstag der Patentschrift:
18.12.85

(51)

Int. Cl.⁴: **G 01 R 33/02**

(21)

Anmeldenummer: **81106071.4**

(22)

Anmeldetag: **03.08.81**

(54)

Anordnung zur Bestimmung der Stärke eines Magnetfeldes, z.B. des Erdfeldes.

(30)

Priorität: **04.08.80 DE 3029532**

(73)

Patentinhaber: **Siemens Aktiengesellschaft, Berlin und München Wittelsbacherplatz 2, D-8000 München 2 (DE)**

(43)

Veröffentlichungstag der Anmeldung:
10.02.82 Patentblatt 82/6

(72)

Erfinder: **Metzner, Uwe, Theodolindenstrasse 49, D-8000 München 90 (DE)**
Erfinder: **Thilo, Peer, Dr.-Ing., Buchhlerstrasse 19, D-8000 München 71 (DE)**

(45)

Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
18.12.85 Patentblatt 85/51

(84)

Benannte Vertragsstaaten:
AT BE CH FR GB IT LI NL SE

(56)

Entgegenhaltungen:
DE - A - 2 245 191
DE - A - 2 353 039
DE - A - 2 823 231
DE - A - 2 933 129
DE - A - 2 949 815
US - A - 3 628 132

IEEE Transactions on magnetics, vol. MAG-8, no. 2, juin 1972, NEW YORK (US), D.C. SCOUTEN: "Sensornoise in low-level flux-gate magnetometers", Seiten 223-231

EP 0 045 509 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Anordnung zur Bestimmung der Feldstärke eines Magnetfeldes gemäss dem Oberbegriff des Anspruches 1.

Zur Bestimmung eines Magnetfeldes, insbesondere des Erdfeldes, werden häufig Magnetsonden benutzt. Dabei wird die Feldstärke des relativ schwachen Erdfeldes gemessen. Aus der Anordnung zweier Magnetsonden, die in einer horizontalen Ebene beispielsweise senkrecht zueinander stehen, lässt sich je eine Komponente des horizontal einwirkenden Erdfeldes messen. Aus dem Vergleich der beiden Feldstärkenkomponenten lässt sich mit trigonometrischen Methoden die Magnetfeldrichtung errechnen und anzeigen. Dabei kann zur Messung der Magnetfeldstärke folgender Effekt ausgenutzt werden: Eine Magnetsonde, die einen Eisenkern, eine Primär- und Sekundärwicklung aufweist, wird mit einem Erregerwechselstrom beaufschlagt. Der durch die Primärwicklung fließende Erregerwechselstrom erzeugt ein inneres Magnetfeld, das sich mit dem äusseren Magnetfeld überlagert. Die in der Sekundärwicklung induzierte Spannung weist aufgrund des äusseren Magnetfeldes asymmetrische Amplituden auf. Die unterschiedlichen Amplituden beider Halbwellen sind ein Mass für die zu messende Feldstärke. Mit geeigneten Auswerteinrichtungen lassen sich die Amplitudendifferenzen ermitteln und zur Anzeige bringen.

Beispielsweise beschreibt die DE-OS 2 353 039 eine Messanordnung für die Winkelstellung eines Magnetfeldes, mit der es möglich ist, die Richtung eines Magnetfeldes mit einer Magnetsonde zu bestimmen. Dabei weist ein Messgeber, der insbesondere als Erdfeldsonde ausgebildet ist, zwei zueinander senkrecht stehende Sekundärwicklungen auf. Zur Magnetisierung der Erdfeldsonde sind zwei Erregerwicklungen notwendig, die mit einem Wechselstrom jeweils erregt werden, so dass an den Sekundärwicklungen Ausgangssignale anstehen, die zumindest Anteile aufweisen, deren Amplituden sich mit dem Sinus bzw. Kosinus des Stellungswinkels ändern. Ferner weist diese Messanordnung zwei RC-Brückenschaltungen zur Bildung von gegensinnig phasenbeweglichen Signalen sowie eine Auswerteschaltung, in welcher nach Frequenzteilung der Signale aus deren Phasenwinkel der Stellungswinkel und damit die Magnetfeldrichtung bestimmt wird.

Ein derartiges Messverfahren hat aber verschiedene Nachteile. Die Nichtlinearität des Eisenkernes führt zur Verzerrung der induzierten Spannung, so dass die Ausgangsspannung eine signifikante andere Kurvenform als der treibende Erregerstrom aufweist. Insbesondere wird eine grosse Zahl von aussteuerungsabhängigen Oberwellen erzeugt, die sich zu unterschiedlich grossen Spitzenspannungen überlagern und so den genauen Vergleich beider Halbwellenamplituden beeinträchtigen. Um diesen Effekt klein zu halten, sind aufwendige Filter und Phasendrehglieder erforderlich, um aus den Amplitudenanteilen die Phasenwinkel zu ermitteln. Derartige Filter sind

kompliziert und aufwendig aufgebaut, um nur die zweite harmonische Schwingung durchzulassen, damit bei einem schwachen Erdfeld zuverlässige Messwerte erzielt werden können. Zudem benötigt bei einer derartigen Messanordnung die Magnetfeldsonde jeweils Primär- und Sekundärwicklungen zum Anlegen einer Erregerwechselspannung und zum Abgreifen des Ausgangssignals. Das erzeugte Signal ist eine feldstärkenabhängige Spannung, die aber im allgemeinen zur weiteren Bearbeitung mit einer zusätzlichen Einrichtung digitalisiert werden muss.

Aus der DE-OS 2 245 191 ist eine Vorrichtung zum Messen von Magnetfeldern mittels Frequenzmessung bekannt. Dabei wird ein Oszillator mit einem die Frequenz bestimmenden Schaltkreis mit einer Induktivität benutzt. Diese ist mit einem magnetischen Kern im zu messenden Magnetfeld angeordnet. Zur Kompensation von thermischen Einflüssen, die eine Frequenzwanderung verursachen, und zur Bildung eines Bezugswertes wird ein zweiter, ähnlicher Oszillator mit einer weiteren Induktivität, die nicht dem zu messenden Magnetfeld ausgesetzt ist, angeordnet und mit einer Differentialanordnung die Magnetfeldstärke ermittelt und angezeigt. Diese Vorrichtung wird in Verbindung mit einem Massenspektrometer benutzt. Dabei werden hohe Feldstärken von beispielsweise 2 bis 10 Kilogauss gemessen. Für die Bestimmung der Feldstärke und der Feldrichtung sehr schwacher Magnetfelder, wie beispielsweise des Erdfeldes, ist eine solche Vorrichtung nicht geeignet. Die Nichtlinearität des Eisenkernes führt auch bei dieser Messvorrichtung zu Verzerrungen. Zudem müsste auch der zweite frequenzbestimmende Schaltkreis mit dem zweiten Oszillator exakt gleich aufgebaut sein, wie der erste Oszillator, um genaue Messergebnisse erzielen zu können. Ferner müsste die Induktivität des zweiten Oszillators dem Einfluss eines äusseren Magnetfeldes entzogen werden, um einen Bezugswert zu erhalten. Zur Ermittlung der Magnetfeldrichtung wäre eine derartige Anordnung doppelt vorzusehen. Dies würde zu einem aufwendigen und komplizierten Aufbau, nämlich vier gleichartigen Magnetsonden und Oszillatoren, davon zwei abgeschirmt, führen. Dabei sind thermische Einflüsse, die ein unterschiedliches Verhalten der verschiedenen oben genannten Schaltungselemente verursachen können, nicht ausgeschlossen.

In der älteren Anmeldung, DE-OS 2 933 129, veröffentlicht am 26.02.81, ist ein Messverfahren zur Bestimmung der Magnetfeldstärke beschrieben. Dort ist eine Schaltungsanordnung zum Messen eines Magnetfeldes, insbesondere des Erdmagnetfeldes, beschrieben, wobei zwei Saturationskern-Oszillatoren vorgesehen sind, um aus dem Frequenzunterschied der beiden Oszillatoren das Erdmagnetfeld (Feldstärke) zu bestimmen. Die beiden Spulen der Oszillatoren sind bei dieser Schaltungsanordnung gegensinnig geschaltet und parallel angeordnet. Dadurch wird durch die Änderung des äusseren Magnetfeldes die Frequenz des einen Oszillators herauf- und die Frequenz des anderen Oszillators herabgesetzt. Aus die-

ser Frequenzdifferenz wird das Magnetfeld, d.h. die Feldstärke, bestimmt. Da bei dieser Messanordnung Temperatureinflüsse die Messung und damit die Messgenauigkeit erheblich beeinflussen können, sind zusätzlich verschiedene aufwendige Massnahmen zur Temperaturkompensation notwendig. Zum Beispiel sind deshalb ein thermostabiles Gehäuse aus nicht magnetischem Material, das Aufheizen auf eine konstante Temperatur, Kondensatoren mit geringen Temperaturkoeffizienten bei dieser Anordnung vorgesehen.

Aufgabe der Erfindung ist es daher, eine Anordnung der oben beschriebenen Art zur Bestimmung der Magnetfeldstärke zu schaffen, die frei von linearen Verzerrungen durch den Eisenkern der Magnetsonde und unbeeinflusst von Temperatureinflüssen ist. Dabei soll mit einem geringen schaltungstechnischen Aufwand und einfachen Bauelementen eine Messanordnung mit sehr hoher Messgenauigkeit geschaffen werden. Diese Aufgabe wird gemäss den Merkmalen im Hauptanspruch gelöst.

Zur Bestimmung der Magnetfeldstärke weist die Magnetfeldsonde eine Wicklung auf, die die frequenzbestimmende Induktivität eines einzigen Oszillatorschaltkreises ist. Zur abwechselnden Vormagnetisierung des Eisenkernes der Magnetsonde wird eine Erregerspannung an die Magnetsondenwicklung gelegt. Dabei wird mit einem taktgesteuerten Schaltelement an die Wicklung als Erregerspannung eine Gleichspannung mit wechselnder Polarität angeschlossen, die eine abwechselnde Vormagnetisierung des Eisenkernes der Sonde bewirkt und damit ein inneres Magnetfeld erzeugt. Die Induktivität der Magnetsondenwicklung ist einerseits von der abwechselnden Vormagnetisierung (inneres Magnetfeld) und andererseits vom äusseren Magnetfeld, das dem inneren Magnetfeld überlagert ist, abhängig. Ein äusseres Magnetfeld bewirkt eine Änderung der Vormagnetisierung und damit eine Änderung der Induktivität, die dadurch die Frequenz des Oszillators einmal erhöht und das andere Mal erniedrigt, so dass besagter Oszillator zwei unterschiedliche Frequenzen liefert. Mit einem weiteren Schaltelement, das synchron zum ersten Schaltelement gesteuert, d.h. von einem Taktgenerator beaufschlagt ist, werden die unterschiedlichen Frequenzen abwechselnd vom Oszillatorschaltkreis jeweils einem Eingang einer Messeinrichtung zugeführt. Mit einem nachgeschalteten Subtrahierer wird die Frequenzdifferenz ermittelt und als proportionale Grösse der Feldstärke von einer nachgeordneten Anzeigeeinrichtung angezeigt.

Mit der erfindungsgemässen Anordnung werden störende Einflüsse wie Nichtlinearität des Eisenkernes, Temperaturschwankungen, ungleiches Verhalten zweier Magnetsondenkerne und zweier Oszillatoren vermieden, weil nur eine Magnetsonde, nur eine Wicklung (Induktivität) und nur ein Oszillator notwendig ist, um die Feldstärke zu bestimmen. Mit dieser Anordnung wird auch der Grundwert der Oszillatorfrequenz eliminiert, so dass die Nichtlinearität des Eisenkernes keinen

Einfluss auf die Messgenauigkeit hat. Bei der erfindungsgemässen Anordnung ist auch keine weitere Bezugsgrösse erforderlich.

In einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung wird diese Anordnung zur Bestimmung der Magnetfeldrichtung genützt. Hierbei weist die Magnetfeldsonde in an sich bekannter Weise zwei in einem bestimmten Winkel, vorzugsweise senkrecht, zueinander stehende Schenkel mit jeweils einer Wicklung auf. Mit einer derartig ausgebildeten Magnetsonde, die horizontal angeordnet ist, lassen sich die Feldstärken zweier senkrecht zueinander stehenden Feldvektoren ermitteln. Dabei sind zwei Oszillatoren vorgesehen. Mit einem ersten Oszillator und dessen frequenzbestimmender erster Wicklung wird die Feldstärke der einen Feldkomponente aus der Frequenzdifferenz des ersten Oszillators und mit einem zweiten Oszillator und dessen frequenzbestimmender zweiter Wicklung wird die Feldstärke der zweiten Feldkomponente aus der Frequenzdifferenz des zweiten Oszillators ermittelt. Aus den Feldstärken beider Feldkomponenten wird mit einer Einrichtung aufgrund trigonometrischer Beziehungen die Richtung des Magnetfeldes ermittelt und in einer nachgeschalteten Anzeigeeinrichtung angezeigt.

Bei dieser Anordnung wird mit einem Schaltelement, das von einem Taktgenerator gesteuert ist, die rechteckförmige Erregerspannung abwechselnd an eine der beiden Wicklungen der beiden Oszillatorschaltkreise angelegt. Mit einem weiteren Schaltelement, das synchron zum Schaltelement für die periodische Umschaltung der Gleichspannung ebenfalls vom Taktgenerator gesteuert wird, werden die am Ausgang des ersten Oszillatorschaltkreises auftretenden Frequenzen abwechselnd an jeweils einen von zwei Eingängen einer ersten dafür vorgesehenen Frequenzmeseinrichtung und die am Ausgang des zweiten Oszillatorschaltkreises auftretenden Frequenzen abwechselnd an jeweils einen von zwei Eingängen einer zweiten Frequenzmeseinrichtung gelegt. Jeder Frequenzmeseinrichtung ist ein Subtrahierer nachgeschaltet, der jeweils die Frequenzdifferenz ermittelt und diese Frequenzdifferenzen des ersten Oszillatorschaltkreises und des zweiten Oszillatorschaltkreises einem ersten Mikrocomputer zuführt, der aus diesen Frequenzdifferenzen, die der jeweiligen Feldstärke entsprechen, die Magnetfeldrichtung ermittelt. Mit einer nachgeordneten Anzeigeeinrichtung wird die Magnetfeldrichtung angezeigt.

In vorteilhafter Weise kann die Schaltungsanordnung so aufgebaut sein, dass die vier zu messenden Frequenzen mit digitalen Zählern gemessen werden. Dabei ist es zweckmässig, einen handelsüblichen Mikrocomputer (z.B. Siemens SAB 8748C) vorzusehen, der unter anderem die Taktsteuerung der Schaltelemente, das Ansteuern der digitalen Zähler und die Differenzbildung aus den gemessenen Frequenzen vornimmt. Zum anderen kann der Mikrocomputer die Richtung der Feldlinien aufgrund trigonometrischer Beziehungen aus den ermittelten Frequenzdifferenzbeträgen berechnen und anzeigen. Die Anzeigeein-

richtung kann so ausgestaltet sein, dass sie ähnlich wie ein Kompass mit einer Magnetnadel die Nordrichtung anzeigt. Ist beispielsweise eine solche Magnetsonde in einem ortsveränderlichen Fahrzeug angeordnet, so kann die Anzeigeeinrichtung so ausgestaltet sein, dass der Richtungswinkel des Fahrzeuges bezüglich der Nordrichtung angezeigt wird. Anhand der Zeichnungen sollen Ausführungsbeispiele sowie das Verfahren näher erläutert werden.

Es zeigen:

Fig. 1 die Induktivität der Sonde in Abhängigkeit der Gleichstromvormagnetisierung,

Fig. 2 eine Schaltungsanordnung zur Ermittlung der Feldstärke,

Fig. 3 eine Schaltungsanordnung zur Ermittlung der Feldrichtung,

Fig. 4 eine Schaltungsanordnung zur Ermittlung der Feldrichtung mit digitalen Zählern und einem Mikrocomputer.

Wie in Fig. 1 veranschaulicht, liegt bei hinreichend kleiner Wechselspannung US an der Sonde SON die wirksame Induktivität LS^* vor. Das äussere Magnetfeld bewirkt eine Änderung ΔI des Vormagnetisierungsgleichstromes IV_0 . Bei hinreichend kleiner Gleichstromänderung ΔI des Vormagnetisierungsgleichstroms ist dLS/dIV_0 annähernd konstant. Damit wird bei dem positiven Vormagnetisierungsstrom $+IV_0 = IV_0 + \Delta I$ die Induktivität LS^* durch das äussere Feld um ΔLS verkleinert und bei dem negativen Vormagnetisierungsstrom $-IV_0 = IV_0 - \Delta I$ die Induktivität LS^* am ΔLS vergrössert. Ist die Induktivität LS der Magnetsonde SON nun frequenzbestimmendes Glied eines Oszillators OSZ (wie in Fig. 2, 3 und 4), so lässt sich die abwechselnd höhere und niedrigere Induktivität und damit die abwechselnd höhere und niedrigere Frequenz f_1 und f_2 des Oszillators OSZ messen und hieraus die äussere Feldstärke ermitteln. Wenn die Änderung der Induktivität ΔL sehr klein gegenüber der wirksamen Sondeninduktivität LS^* ist ($\Delta L \ll LS^*$), kann man die entsprechenden Schwingungsfrequenzen näherungsweise durch

$$f_1 = f(+IV_0) = f_0 + \Delta f \text{ und } f_2 = f(-IV_0) = f_0 - \Delta f$$

darstellen.

Die höhere Frequenz f_1 ist eine Funktion des positiven Vormagnetisierungsstroms $+IV_0$ und die niedrigere Frequenz f_2 ist eine Funktion des negativen Vormagnetisierungsstroms $-IV_0$. Die Grundfrequenz des Oszillators ist hierbei f_0 . Durch Umpolen des Vormagnetisierungsstroms IV_0 fällt bei der Differenzbildung der beiden gemessenen Frequenzen f_1 und f_2 die Grundfrequenz f_0 heraus, und man erhält als Ausgangssignal $2 \Delta f$, das bei gegebenem Vormagnetisierungsstrom IV_0 proportional der Vormagnetisierungsstromänderung ist ($2 \Delta f \sim \Delta I$). Somit erhält man ein Mass für die Stärke eines äusseren Magnetfeldes. Dabei ist der Grundwert, die Grundfrequenz f_0 des Oszillators eliminiert.

Mit der in Fig. 2 gezeigten Schaltungsanordnung wird mit der Magnetsonde SON und einem

LC-Oszillator OSZ die Feldstärke ermittelt. Dabei ist die Induktivität LS mit der Wicklung W der Magnetsonde SON frequenzbestimmendes Glied des Oszillators OSZ . Mit einer Frequenzmeseinrichtung FME werden die beiden Frequenzen f_1 und f_2 gemessen. Mit einem nachgeschalteten Subtrahierer SUB wird aus den beiden gemessenen Frequenzen f_1 und f_2 die Frequenzdifferenz $f_1 - f_2$ gebildet und als ermittelte Feldstärke angezeigt. Die rechteckförmige Spannung wird beispielsweise durch das periodische Umpolen einer Gleichspannung UG mittels des Schaltelements S_1 erzeugt. Über den Vorwiderstand RV gelangt die Spannung in den Oszillatorschaltkreis OSZ , und der abwechselnd positive und negative Vormagnetisierungsgleichstrom IV_0 erzeugt abwechselnd die Frequenzen f_1 und f_2 . Diese werden abwechselnd über das Schaltelement S_2 an die zwei Eingänge der Frequenzmeseinrichtung FME geführt. Ein Taktgenerator TG steuert sowohl das periodische Umpolen der Gleichspannung UG mit dem Schaltelement S_1 als auch dazu synchron das Umschalten des Schaltelementes S_2 . Je nach Schalterstellung gelangt die zu messende Frequenz einmal an den ersten Eingang der Frequenzmeseinrichtung FME und zum anderen Mal an den zweiten Eingang der Frequenzmeseinrichtung FME . Die Ausgänge der Frequenzmeseinrichtung sind an die Eingänge eines Subtrahierers SUB geführt. Dieser bildet aus den gemessenen Frequenzen f_1 und f_2 den Differenzbetrag $2 \Delta f$. Auf diese Weise wird die Grundfrequenz f_0 eliminiert und nur die Frequenzdifferenz $2 \Delta f$ ermittelt. Zur Erhöhung der Messsicherheit und der Messgenauigkeit kann der Differenzbetrag $2 \Delta f$ erst aus mehreren Frequenzmessungen für die Frequenzen f_1 und f_2 gebildet werden. Dieser ermittelte Frequenzdifferenzbetrag ist eine Funktion der Feldstärke des äusseren Magnetfeldes und wird in einer nachgeordneten Anzeigeeinrichtung ANZ angezeigt.

Fig. 3 zeigt eine Schaltungsanordnung zur Ermittlung der Richtung eines Magnetfeldes. Hierbei wird eine Magnetsonde SON verwendet, die erlaubt, beide Komponenten eines Magnetfeldes, d.h. die Feldvektoren, die senkrecht zueinander stehen, zu erfassen. Dazu weist die Sonde zwei Schenkel, die in einem bestimmten Winkel, beispielsweise senkrecht, zueinander stehen, mit jeweils einer Wicklung W_1 und W_2 auf. Die Ansteuerung dieser Schaltung erfolgt ähnlich wie in dem ersten Ausführungsbeispiel. Der Taktgenerator TG polt periodisch die Gleichspannung UG mittels des Schaltelements S_1 um und legt sie über einen Vorwiderstand RV_1 mittels des Schaltelementes S_3 an die Wicklung W_1 der Sondeninduktivität LS_1 und danach über einen Vorwiderstand RV_2 an die Wicklung W_2 der Sondeninduktivität LS_2 . Hier sind zwei Oszillatoren OSZ_1 und OSZ_2 vorgesehen. Die Sondeninduktivität LS_1 ist frequenzbestimmendes Glied des ersten Oszillators OSZ_1 , die Sondeninduktivität LS_2 ist frequenzbestimmendes Glied des zweiten Oszillators OSZ_2 . Der jeweilige Ausgang der Oszillatoren ist über das Schaltelement S_4 jeweils an die Eingänge zweier Frequenzmeseinrichtungen FME_1 und FME_2 geführt. Das

Schaltelement S4 wird vom Taktgenerator TG synchron mit dem Schaltelement S1 und S3 gesteuert.

Die Fig. 4 zeigt ein abgewandeltes Ausführungsbeispiel gemäss der Fig. 3. Hierbei werden die vier verschiedenen Frequenzen f1, f2, f3 und f4 mit digitalen Zählern DEZ, BIZ gemessen und in einem handelsüblichen zweiten Mikrocomputer MC abgespeichert. Dieser kann beispielsweise ein Mikrocomputer der Firma Siemens SAB 8748 C sein. Im Mikrocomputer MC werden die Frequenzdifferenzbeträge gebildet und daraus die Feldrichtung des äusseren Magnetfeldes ermittelt. Der zweite Mikrocomputer MC übernimmt auch die Taktsteuerung der Schaltelemente S3 und S5 und der Zähler DEZ und BIZ.

Wie in Fig. 3 ist die Gleichspannungsquelle UG über die Schaltelemente S1 und S3 einmal über den Vorwiderstand RV1 an die Wicklung W1 der Sondeninduktivität LS1 und das andere Mal über den Vorwiderstand RV2 an die Wicklung W2 der Sondeninduktivität LS2 angeschlossen. Die Induktivität LS1 bestimmt die Resonanzfrequenzen f1 und f2 des ersten Oszillators OSZ1 in Abhängigkeit von der positiven bzw. negativen Gleichstromvormagnetisierung. Die Induktivität LS2 bestimmt die Resonanzfrequenzen f3 und f4 des zweiten Oszillators OSZ2 in Abhängigkeit von der positiven bzw. negativen Vormagnetisierung. Die Gleichspannungsquelle UG wird mit dem Schaltelement S1 umgepolt, das vom zweiten Mikrocomputer MC über dessen Ausgang 3 taktgesteuert wird. Entsprechend wird vom zweiten Mikrocomputer MC über dessen Ausgang 5 das Anschalten des Schaltelements S3 einmal an den Vorwiderstand RV1 und das andere Mal an den Vorwiderstand RV2 gesteuert. Das bewirkt, dass die Rechteckspannung entweder an der Wicklung W1 oder an der Wicklung W2 der Sonde SON anliegt. Jeder Oszillator OSZ1 und OSZ2 weist eine an sich bekannte Verstärkerstufe V1 bzw. V2 auf. Der jeweilige Oszillatorausgang wird wahlweise mit dem Schaltelement S5 über einen Widerstand R3 an einen Komparator KOM gelegt. Das Schaltelement S5 wird ebenfalls vom zweiten Mikrocomputer MC über den Ausgang 5 synchron zum Schaltelement S3 entsprechend taktgesteuert, so dass zum Beispiel die Resonanzfrequenz f1 des ersten Oszillators OSZ1 gemessen wird, wenn die positive Halbwelle des Vormagnetisierungsstroms +IV0 durch die Wicklung W1 der Induktivität LS1 fliesst, und die Resonanzfrequenz f2 des ersten Oszillators, wenn die negative Halbwelle des Vormagnetisierungsstroms -IV0 durch die Wicklung W1 fliesst. Dann wird die Resonanzfrequenz f3 des zweiten Oszillators gemessen, wenn die positive Halbwelle des Vormagnetisierungsstromes +IV0 durch die Wicklung W2 der zweiten Induktivität LS2 fliesst, und die Resonanzfrequenz f4 des zweiten Oszillators OSZ2, wenn die negative Halbwelle des Vormagnetisierungsstroms -IV0 durch die Wicklung W2 der Induktivität LS2 fliesst.

Der Komparator KOM, zum Beispiel LM311 N von Texas Instruments, wandelt die sinusförmigen Eingangssignale in Rechtecksignale um. Diese gelangen an den Eingang des Dekadenzählers

DEZ (z.B. MC14017 BCLD von Motorola) und an den Eingang des ersten Flip-Flop FF1. Der Ausgang des Dekadenzählers DEZ ist mit dem Eingang des zweiten Flip-Flop FF2 und über ein Nichtglied G1 mit dem zweiten Mikrocomputer MC verbunden. Der Ausgang Q des zweiten Flip-Flop FF2 führt auf den ersten Eingang eines NAND-Gliedes G2, das am zweiten Eingang mit einer Taktfrequenz TAF von z.B. 666 kHz beaufschlagt ist. Diese Taktfrequenz TAF wird vom zweiten Mikrocomputer MC erzeugt und über dessen Ausgang 2 abgegeben. Der Ausgang des NAND-Gliedes G2 ist mit dem Binärzähler BIZ verbunden. Dieser kann ein handelsüblicher Zähler, z.B. NC14040 BCL von Motorola, mit 12-bit-Binärausgängen sein. Zur Rücksetzung der beiden Flip-Flop FF1 und FF2 und des Dekadenzählers DEZ sind deren «Reset»-Eingänge R mit dem Ausgang S des zweiten Mikrocomputers MC verbunden. Der Ausgang Q des ersten Flip-Flop FF1 führt auf den «Reset»-Eingang R des Binärzählers BIZ. Die Binärausgänge BA des Binärzählers BIZ führen auf die entsprechenden Eingänge des zweiten Mikrocomputers MC.

Mit dem «Reset»-Signal des zweiten Mikrocomputers MC an dessen Ausgang S wird das Startsignal für einen Messzyklus gegeben, um die Frequenz am Ausgang des Komparators KOM zu messen. Wird z.B. die Frequenz f1 gemessen, so wird mit der ersten ansteigenden Flanke der Frequenz f1 der Ausgang Q des ersten Flip-Flop FF1 «0» und damit der «Reset»-Eingang des Binärzählers «0». Der Binärzähler BIZ ist zählbereit. Mit der ersten Flanke der Frequenz f1 zählt der Binärzähler BIZ in 666 kHz-Impulsen. Mit der 10. Flanke der Frequenz f1 steht am Ausgang Q9 des Dekadenzählers DEZ eine logische «1», die über das zweite Flip-Flop FF2 das NAND-Glied G2 sperrt, so dass keine 666 kHz-Impulse in den Binärzähler BIZ gelangen können. An den Binärausgängen BA des Binärzählers BIZ steht nun die Anzahl der gezählten 666 kHz-Impulse während 10 Perioden der Frequenz f1 im Binärcode. Da gleichzeitig mit dem Signal «1» am Ausgang Q9 des Dekadenzählers DEZ über das Nichtglied G1 eine Unterbrechung des Zählvorgangs ausgelöst wird, wird der Binärwert von den Binärzählerausgängen BA in den zweiten Mikrocomputer MC eingelesen und abgespeichert.

Ebenso werden die Frequenzen f2 bis f4 gemessen und in den zweiten Mikrocomputer MC abgespeichert. Die aus den gemessenen Frequenzen vom zweiten Mikrocomputer ermittelte Feldrichtung wird in einer dem zweiten Mikrocomputer nachgeschalteten Anzeigeeinrichtung ANZ angezeigt.

Patentansprüche

1. Anordnung zur Bestimmung der Feldstärke eines Magnetfeldes mit einem Oszillatorschaltkreis (OSZ), der als frequenzbestimmende Induktivität (LS) die Wicklung (W) einer Magnetfeldsonde (SON) aufweist, so dass die Frequenz des Oszillatorschaltkreises (OSZ) abhängig von der Stär-

ke des die Sonde (SON) beaufschlagenden Magnetfeldes ist, mit einer Frequenzmesseinrichtung (FME) zur Ermittlung der Feldstärke durch Frequenzmessung und mit einer nachgeschalteten Anzeigeeinrichtung (ANZ), dadurch gekennzeichnet, dass ein erstes von einem Taktgenerator (TG) gesteuertes Schaltelement (S1) vorgesehen ist, mit dem die Spannung einer Gleichspannungsquelle (UG) periodisch umgepolt und als rechteckförmige Erregerspannung an die Wicklung (W) der Magnetfeldsonde (SON) angeschaltet ist, dass am Ausgang des Oszillatorschaltkreises (OSZ) ein zweites Schaltelement (S2) vorgesehen ist, mit dem synchron zum ersten Schaltelement (S1) und jeweils in abwechselnd aufeinanderfolgenden Zeitintervallen die für die eine Polarität der Erregerspannung auftretende Frequenz (f_1) einem ersten Eingang der Frequenzmesseinrichtung (FME) und die für die andere Polarität der Erregerspannung auftretende Frequenz (f_2) einem zweiten Eingang der Frequenzmesseinrichtung (FME) zugeführt ist, und dass ein Subtrahierer (SUB) der Frequenzmesseinrichtung (FME) zur Differenzbildung der Frequenzen (f_1 und f_2) nachgeschaltet ist.

2. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein weiterer Oszillatorschaltkreis (OSZ1 bzw. OSZ2) vorgesehen ist, der als frequenzbestimmende Induktivität (LS1 bzw. LS2) eine weitere Wicklung (W1 bzw. W2) der Magnetfeldsonde (SON) aufweist, wobei die weitere Wicklung (W1 bzw. W2) zu der ersten in einem bestimmten Winkel steht, dass ein drittes, von dem Taktgenerator (TG) gesteuertes Schaltelement (S3) vorgesehen ist, mit dem die rechteckförmige Erregerspannung abwechselnd an eine der beiden Wicklungen (W1 bzw. W2) der beiden Oszillatorschaltkreise (OSZ1, OSZ2) geschaltet ist, dass dem weiteren Oszillatorschaltkreis (OSZ1 bzw. OSZ2) eine weitere Frequenzmesseinrichtung (FME1 bzw. FME2) mit einem weiteren, nachgeschalteten Subtrahierer (SUB1 bzw. SUB2) nachgeschaltet ist, dessen jeweiliger Ausgang mit einem ersten Mikrocomputer (MC') verbunden ist, der die Richtung des Magnetfeldes ermittelt und mit einer nachgeordneten Anzeigeeinrichtung (ANZ) anzeigt, und dass am Ausgang jedes Oszillatorschaltkreises (OSZ1, OSZ2) ein viertes Schaltelement (S4) vorgesehen ist, mit dem synchron zum ersten Schaltelement (S1) und in Abhängigkeit von der Schalterstellung des dritten Schaltelements (S3) die Frequenzen (f_1 und f_2) des ersten Oszillatorschaltkreises (OSZ1) und die Frequenzen (f_3 und f_4) des weiteren Oszillatorschaltkreises (OSZ2) abwechselnd den beiden Frequenzmesseinrichtungen (FME1 und FME2) zugeführt sind.

3. Anordnung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Taktgenerator (TG), die Subtrahierer (SUB1, SUB2) und auch der erste Mikrocomputer (MC') zur Ermittlung der Magnetfeldrichtung von einem zweiten Mikrocomputer (MC) gebildet sind, und dass die Frequenzmeseinrichtungen (FME1, FME2) einen Komparator (KOM), mindestens zwei Flip-Flop (FF1, FF2) und

zumindest einen digitalen Zähler (DEZ, BZ) aufweisen, die vom zweiten Mikrocomputer (MC) steuerbar sind.

Claims

1. An arrangement for determining the field strength of a magnetic field, with an oscillator circuit (OSZ) provided with the winding (W) of a magnetic field probe (SON) as a frequency-determining inductance (LS), so that the frequency of the oscillator circuit (OSZ) is dependent upon the strength of the magnetic field which acts upon the probe (SON), a frequency measuring device (FME) to determine the field strength by frequency measurement, followed by a display device (ANZ), characterised in that a first switching element (S1) controlled by a clock pulse generator (TG) periodically reverses the polarity of a d.c. voltage source (UG) and is connected to the winding (W) of the magnetic field probe (SON) to provide a rectangular excitation voltage, that a second switching element (S2) is arranged at the output of the oscillator circuit (OSZ) to act in synchronism with the first switching element (S1) and in each case in alternating consecutive time intervals the frequency (f_1) which occurs for the first polarity of the excitation voltage is fed to a first input of the frequency measuring device (FME) and the frequency (f_2) which occurs for the other polarity of the excitation voltage is fed to a second input of the frequency measuring device (FME), and that a subtractor (SUB) is connected to the output end of the frequency measuring device (FME) in order to form the difference between the frequencies (f_1 and f_2).

2. An arrangement as claimed in Claim 1, characterised in that there is provided a further oscillator circuit (OSZ1 or OSZ2 as the case may be) which possesses a further winding (W1 or W2 as the case may be) of the magnetic field probe (SON) as a frequency-determining inductance (LS1 or LS2 as the case may be), where the further winding (W1 or W2) is arranged at a specific angle to the first winding, that a third switching element (S3) is controlled by the clock pulse generator (TG) and alternately connects the rectangular excitation voltage to one of the two windings (W1 or W2) of the two oscillator circuits (OSZ1, OSZ2), that the further oscillator circuit (OSZ1 or OSZ2) is connected at its output end to a further frequency measuring device (FME1 or FME2 as the case may be) which is itself followed by a subtractor (SUB1 or SUB2 as the case may be), the output of each of which is connected to a first microcomputer (MC') which determines the direction of the magnetic field and displays it on a following display device (ANZ), and that at the output of each oscillator circuit (OSZ1, OSZ2) there is arranged a fourth switching element (S4) with which, in synchronism to the first switching element (S1) and in dependence upon the switch position of the third switching element (S3), the frequencies (f_1 and f_2) of the first oscillator circuit (OSZ1) and the fre-

quencies (f3 and f4) of the further oscillator circuit (OSZ2) are alternately fed to the two frequency measuring devices (FME1 and FME2).

3. An arrangement as claimed in Claim 2, characterised in that the clock pulse generator (TG), the subtractors (SUB1, SUB2) and the first microcomputer (MC') which serves to determine the direction of the magnetic field are formed by a second microcomputer (MC), and that the frequency measuring devices (FME1, FME2) possess a comparator (KOM), at least two flip-flops (FF1, FF2) and at least one digital counter (DEZ, BZ) which can be controlled by the second microcomputer (MC).

Revendications

1. Dispositif pour déterminer l'intensité d'un champ magnétique comportant un circuit oscillateur (OSZ), qui comporte en tant qu'inductance (ES) déterminant la fréquence, l'enroulement (W) d'une sonde (SON) du champ magnétique, de sorte que la fréquence du circuit oscillateur (SZ) dépend de l'intensité du champ magnétique chargeant la sonde (SON), et comportant un fréquencemètre (FME) servant à déterminer l'intensité de champ par mesure de la fréquence, et un dispositif d'affichage (AMZ) branché en aval, caractérisé par le fait qu'il est prévu un premier organe de commutation (S1) commandé par un générateur de cadence (TG) et à l'aide duquel la tension d'une source de tension continue (UG) subit une inversion périodique de polarité, cette tension étant appliquée en tant que tension d'excitation de forme rectangulaire à l'enroulement (W) de la sonde de champ magnétique (SEN), qu'il est prévu, à la sortie du circuit oscillateur (OSZ) un second organe de commutation (S2) avec lequel, en synchronisme avec le premier organe de commutation (S1) et respectivement pendant des intervalles de temps se succédant de façon alternée, la fréquence (f1), qui apparaît pour une polarité de la tension d'excitation, est envoyée à une première entrée du fréquencemètre (FME) et la fréquence (f2), qui apparaît pour l'autre polarité de la tension d'excitation, est envoyée à une seconde entrée du fréquencemètre (FME), et qu'un

dispositif soustracteur (SUB) est branché en aval du fréquencemètre (FME), en vue de former la différence entre les fréquences (f1 et f2).

2. Dispositif suivant la revendication 1, caractérisé par le fait qu'il est prévu un autre circuit oscillateur (OSZ1 ou OSZ2) qui comporte, comme inductance (LS1 ou LS2) déterminant la fréquence, un enroulement supplémentaire (W1 ou W2) de la sonde (SON) du champ magnétique, l'enroulement supplémentaire (W1 ou W2) faisant par rapport au premier enroulement un angle déterminé, qu'il est prévu un troisième organe de commutation (S3) commandé par le générateur de cadence (TG) et à l'aide duquel la tension d'excitation rectangulaire est appliquée en alternance à l'un des deux enroulements (W1 ou W2) des deux circuits oscillateurs (OSZ1, OSZ2), qu'en aval du circuit oscillateur supplémentaire (OSZ1 ou OSZ2) se trouve branché un fréquencemètre supplémentaire (FME1 ou FME2) en aval duquel est branché un dispositif soustracteur supplémentaire (SUB1 ou SUB2) et dont la sortie respective est reliée à un premier micro-ordinateur (MC'), qui détermine la direction du champ magnétique et l'affiche au moyen d'un dispositif d'affichage (ANZ) monté en aval, et qu'il est prévu, à la sortie de chaque circuit oscillateur (OSZ1, OSZ2), un quatrième organe de commutation (S4) à l'aide duquel les fréquences (f1 et f2) du premier circuit oscillateur (OSZ1) et les fréquences (f3 et f4) du circuit oscillateur supplémentaire (OSZ2) sont envoyées en alternance aux deux fréquencemètres (FME1 ou FME2) et ce en synchronisme avec le premier organe de commutation (S1) et en fonction de la position de commutation du troisième organe de commutation (S3).

3. Dispositif suivant la revendication 2, caractérisé par le fait que le générateur de cadence (TG), les dispositifs soustracteurs (SUB1, SUB2) et également le premier micro-ordinateur (MC') servant à déterminer la direction du champ magnétique sont formés par un second micro-ordinateur (MC), et que les fréquencemètres (FME1, FME2) comportent un comparateur (KOM), au moins deux bascules bistables (FF1, FF2) et au moins un compteur numérique (DEZ, BZ), qui peuvent être commandés par le second micro-ordinateur (MC).

FIG 1

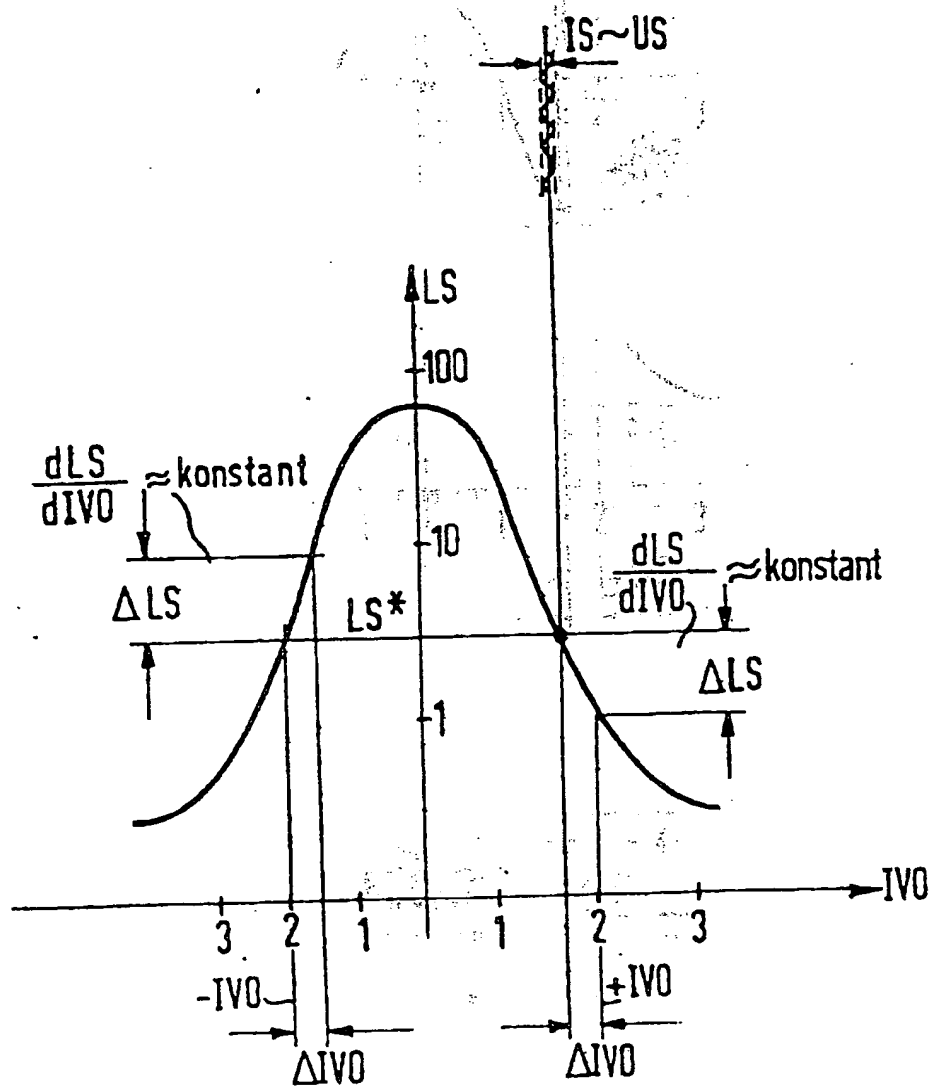


FIG 2

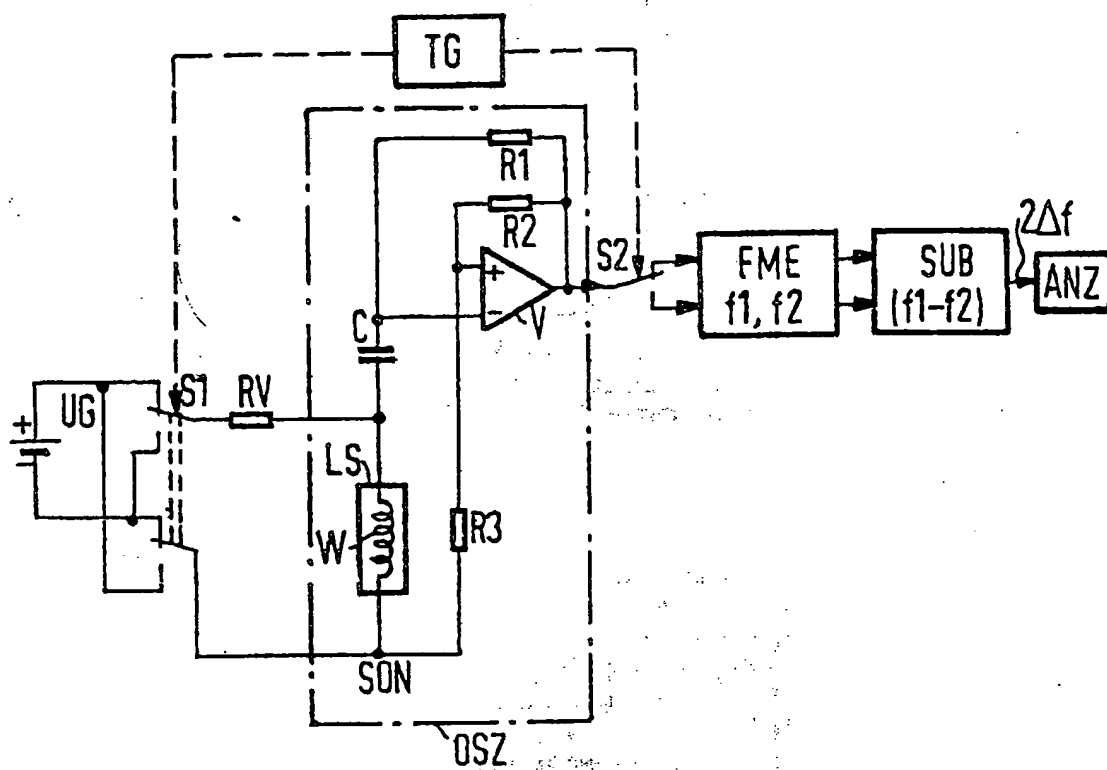


FIG 3

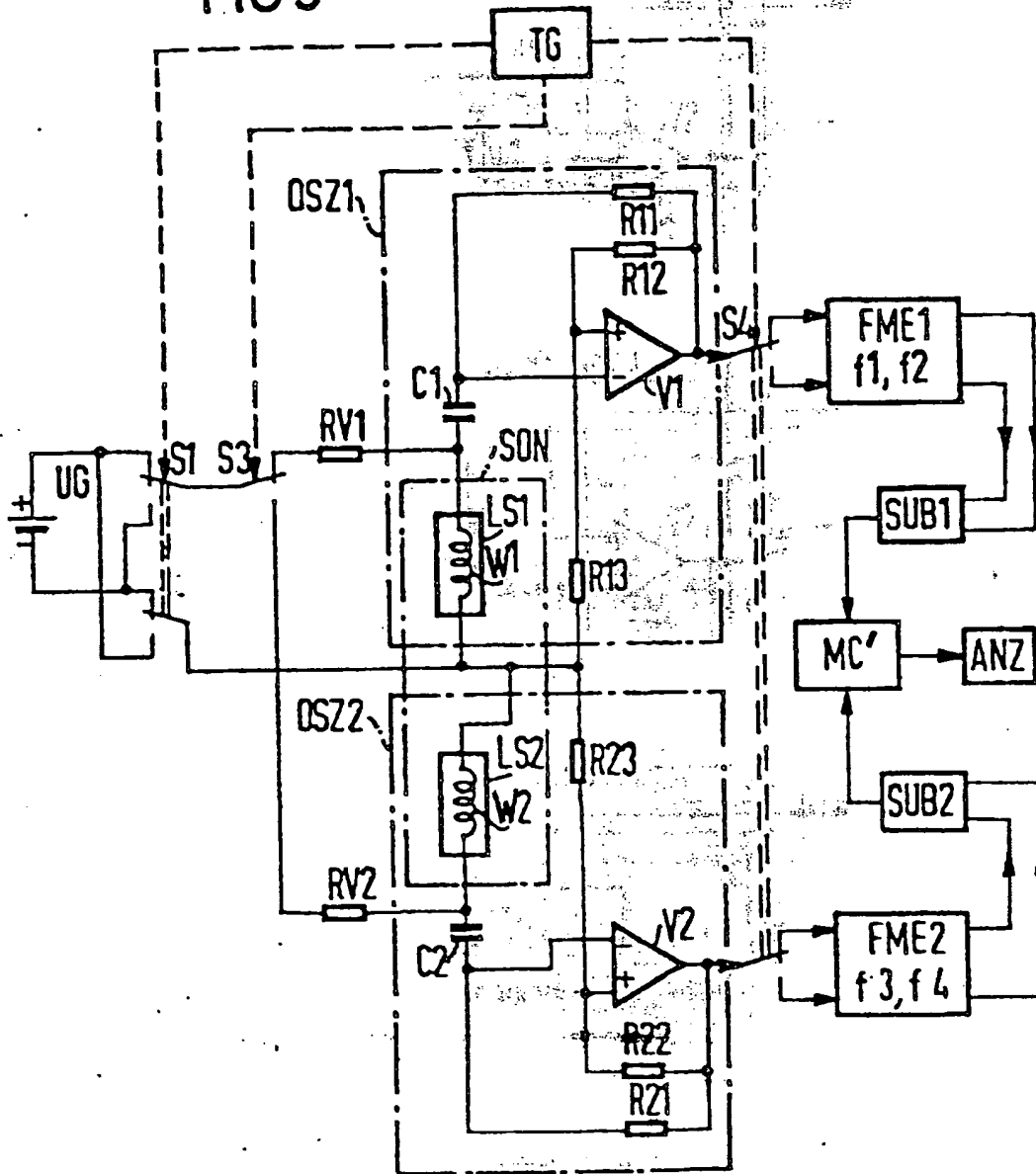
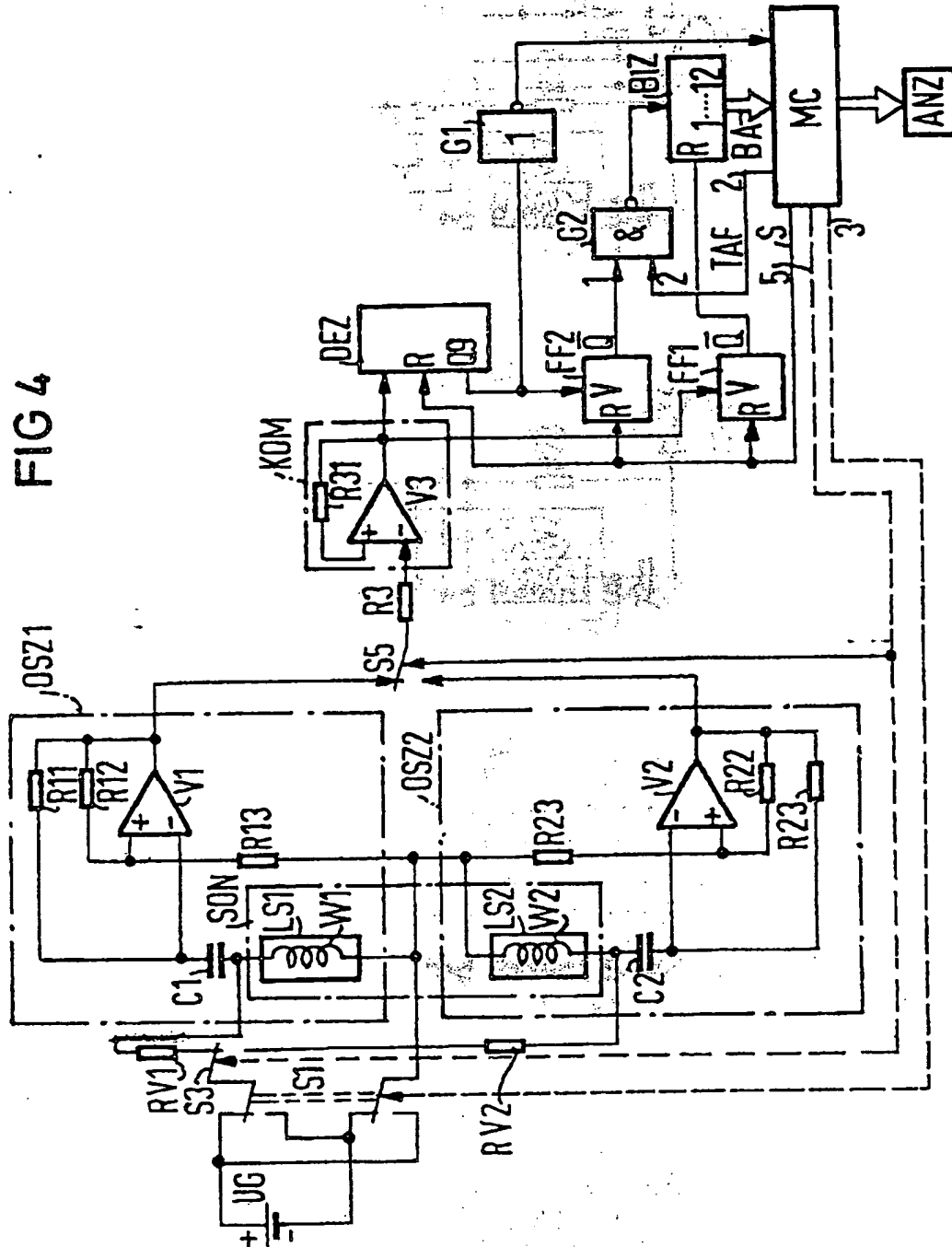


FIG 4



Specification

The invention relates to a configuration for determining the field strength of a magnetic field according to the preamble of claim 1.

For determining a magnetic field, in particular the earth's [magnetic] field, magnetic probes are frequently employed. Therein the field strength of the relatively weak geomagnetic field is measured. Based on the configuration of two magnetic probes, which are disposed in a horizontal plane; for example perpendicularly to one another, one component each of the horizontally acting geomagnetic field can be measured. From the comparison of the two field strength components using trigonometric methods the magnetic field direction can be calculated and indicated. For measuring the magnetic field strength, the following effect can therein be utilized: a magnetic probe, comprising an iron core and a primary and secondary winding, is activated by an excitation AC current. The excitation AC current flowing through the primary winding, generates an internal magnetic field, which is superimposed by the external magnetic field. The potential [field] induced in the secondary winding has asymmetric amplitudes due to the external magnetic field. The differing amplitudes of the two half waves are a measure of the field strength to be measured. With suitable evaluation devices, the amplitude differences can be determined and displayed.

DE-OS 2 353 039 describes, for example, a measuring configuration for the angle position of a magnetic field, with which it is possible to determine the direction of a magnetic field with a magnetic probe. The measuring sensor, which is in particular developed as a geomagnetic field probe, comprises two secondary windings perpendicular to one another. For the magnetization of the geomagnetic field probe, two excitation windings are required, which are each excited with an AC current, such that at the secondary windings output signals are generated, which comprise at least components whose amplitudes change with the sine or cosine of the position angle. This measuring configuration comprises further two RC bridge

circuits for forming signals oppositely shiftable in phase, as well as an evaluation circuit in which, after the frequency division of the signals, based on their phase angle, the position angle and therewith the magnetic field direction is determined.

But such a measuring method has various disadvantages. The nonlinearity of the iron core leads to distortion of the induced potential such that the output voltage has a significantly different curve profile than the driving excitation current. In particular a large number of driving-dependent [upper] harmonic waves is generated, which become superimposed on peak voltages of different magnitudes, and thus impair the precise comparison of both half wave amplitudes. In order to keep this effect minimal, complicated and expensive filters and phasing equipment are necessary in order to determine the phase angle from the amplitude components. Such filters have complicated and complex structuring to allow only the second harmonic oscillation to pass in order to be able to attain reliable measuring values with a weak geomagnetic field. In addition, with such a measuring configuration the magnetic field probe requires primary and secondary windings for applying an excitation AC voltage and for tapping the output signal. The generated signal is a voltage which depends on the field strength, but which, in general, must be digitized with an additional device for further processing.

DE-OS 2 245 191 discloses a system for measuring magnetic fields by means of frequency measurements. Therein an oscillator is utilized with a circuit determining the frequency with an inductor. This is disposed with a magnetic core in a magnetic field to be measured. For the compensation of thermal effects, which cause a frequency drift, and for the formation of a reference value a second similar oscillator with a further inductor, which is not exposed to the magnetic field to be measured, is disposed and with a differential configuration the magnetic field strength is determined and displayed. This system is applied in connection with a mass spectrometer. Therein high field strengths of, for example, 2 to 10 kilogauss are measured. Such a system is not suitable for determining the field strength and the field direction of very weak magnetic fields, such as for example of the geomagnetic field. The nonlinearity of the iron core leads in this measuring system also to

distortions. Furthermore, the second frequency determining circuit with the second oscillator would also need to be built precisely identically to the first oscillator in order to be able to obtain exact measuring results. Further, the inductor of the second oscillator would need to be removed from the effect of an external magnetic field in order to obtain a reference value. To determine the magnetic field direction, such a system would have to be provided twofold. This would lead to an expensive and complicated structure, namely four identical magnetic probes and oscillators, of which two would have to be shielded. Thermal effects, which can cause differing behavior of the different above listed circuit elements, are therein not excluded.

In the earlier application DE-OS 2 933 129, published 26 February 1961, a measuring method for determining the magnetic field strength is described. Therein a circuit configuration for measuring a magnetic field, in particular the geomagnetic field, is described, wherein two saturation core oscillators are provided in order to determine the geomagnetic field (field strength) based on the frequency difference of the two oscillators. The two coils of the oscillators in this circuit configuration are connected oppositely and disposed in parallel. Thereby by the change of the external magnetic field the frequency of the one oscillator is raised and the frequency of the other oscillator is lowered. On the basis of this frequency difference, the magnetic field, i.e. the field strength, is determined. Since in this measuring configuration temperature effects can exert a considerable effect on the measurement, and thus the measuring accuracy, additionally various expensive measures are necessary for temperature compensation. For example, for that reason a thermostable housing of a nonmagnetic material, heating to a constant temperature, capacitors with low temperature coefficients are provided in this configuration.

The task of the invention is therefore to provide a configuration of the above described type for determining the magnetic field strength, which is free of linear distortions through the iron core of the magnetic probe and unaffected by temperature effects. Therein with low circuit expenditures and simple components a measuring configuration with very high measuring accuracy is to be provided. This task is solved according to the characteristics in the independent claim.

For determining the magnetic field strength the magnetic field probe comprises a winding which is the frequency determining inductor of a single oscillator circuit. For alternating premagnetization of the iron core of the magnetic probe an excitation voltage is connected to the magnetic probe winding. Therein with a clock-controlled switching element a DC voltage with alternating polarity is connected to the windings as the excitation voltage, which brings about the alternating premagnetization of the iron core of the probe and therewith generates an internal magnetic field. The inductance of the magnetic probe winding depends, on the one hand, on the alternative premagnetization (internal magnetic field) and, on the other hand, on the external magnetic field, which is superimposed on the internal magnetic field. An external magnetic field leads to a change of the premagnetization, and thus to a change of the inductance, which thereby raises the frequency of the oscillator on time and the other time lowers it such that said oscillator supplies two different frequencies. With a further switching element, which, controlled synchronously with the first switching element, i.e. is acted upon by a clock generator, the different frequencies are each supplied alternately from the oscillator circuit to an input of a measuring device. With a succeeding subtractor the frequency difference is determined and displayed on a succeeding display device as a proportional quantity of the field strength.

With the configuration according to the invention, disturbing effects, such as nonlinearity of the iron core, temperature fluctuations, nonequal behavior of two magnetic probe cores and of two oscillators are avoided since only one magnetic probe, only one winding (inductance) and only one oscillator are necessary in order to determine the field strength. With this configuration the base value of the oscillator frequency is also eliminated such that the nonlinearity of the iron core has no effect on the measuring accuracy. In the configuration according to the invention, no further reference quantity is required.

In an advantageous further development of the invention this configuration is utilized for determining the magnetic field direction. Herein the magnetic field probe in a manner known per se comprises two legs, disposed at a specific angle,

preferably perpendicularly, with one winding each. With a magnetic probe developed such, which is disposed horizontally, the field strengths of two field vectors, perpendicular to one another, can be determined. Two oscillators are therein provided. With a first oscillator and its frequency-determining first winding, the field strength of the one field component is determined from the frequency difference of the first oscillator, and with a second oscillator and its frequency-determining second winding, the field strength of the second field component is determined from the frequency difference of the second oscillator. From the field strengths of both field components with one device, based on trigonometric relations, the direction of the magnetic field is determined and displayed in a succeeding display device.

In this configuration with a clock generator-controlled switching element the rectangular excitation voltage is alternatingly connected to one of the two windings of the two oscillator circuits. With a further switching element, which is also controlled by the clock generator synchronously with the switching element for the periodic switch-over of the DC voltage, the frequencies occurring at the output of the first oscillator circuit are alternatingly connected to in each instance one of two inputs of a frequency measuring device provided for this purpose, and the frequencies occurring at the output of the second oscillator circuit, alternatingly to, in each instance, one of two inputs of a second frequency measuring device. Each frequency measuring device is succeeded by a subtractor, which determines the frequency difference and supplies these frequency differences of the first oscillator circuit and of the second oscillator circuit to a first microcomputer, which determines from these frequency differences, which correspond to the particular field strength, the magnetic field direction. On a succeeding display device, the magnetic field direction is displayed.

The circuit configuration can advantageously be structured such that the four frequencies to be measured, are measured with digital counters. It is therein expedient, to provide a commercially available microcomputer (for example SAB 8748C by Siemens), which, *inter alia*, carries out the clock control of the switching elements, the addressing of the digital counters, and the difference formation from

the measured frequencies. For another, the microcomputer can calculate, and display, the direction of the field lines based on trigonometric relations from the magnitude of the frequency differences determined. The display device can be structured such that, similar to a compass with a magnetic needle, it indicates magnetic north. If, for example, such a magnetic probe disposed in a location-changing vehicle, the display device can be equipped such that the direction angle of the vehicle with respect to the magnetic north is displayed. In conjunction with the drawing, embodiment examples as well as the method will be explained in further detail. Therein depict:

- Fig. 1 the inductance of the probe as a function of the DC current premagnetization,
- Fig. 2 a circuit configuration for determining the field strength,
- Fig. 3 a circuit configuration for determining the field direction,
- Fig. 4 a circuit configuration for determining the field direction with digital counters and a microcomputer.

As illustrated in Figure 1, with sufficiently low AC voltage U_S at a probe SON the effective inductance LS^* is present. The external magnetic field leads to a change ΔI of the premagnetization DC current I_{VO} . With sufficiently small DC current change Δ of the premagnetization DC current, dLS/dI_{VO} is approximately constant. Therewith at the positive magnetization current $+I_{VO} = I_{VO} + \Delta I$, through the external field the inductance LS^* is decreased by ΔLS and, at the negative premagnetization current $-I_{VO} = I_{VO} - \Delta I$, the inductance LS^* is increased by ΔLS . If the inductance LS of the magnetic probe SON is now the frequency-determining member of an oscillator OSZ (as in Fig. 2, 3 and 4); the alternately higher and lower

inductance, and therewith the alternately higher and lower frequency f_1 and f_2 of the oscillator OSZ, can be measured and herefrom the external field strength can be determined. If the change of the inductance ΔL is very small compared to the effective probe inductance LS^* ($\Delta L \ll LS^*$), the corresponding oscillation frequencies can be represented by approximation by

$$f_1 = f(+IVO) = f_0 + \Delta f \text{ and } f_2 = f(-IVO) = f_0 - \Delta f.$$

The higher frequency f_1 is a function of the positive premagnetization current $+IVO$ and the lower frequency f_2 is a function of the negative premagnetization current $-IVO$. The base frequency of the oscillator is here f_0 . By pole-reversal of the premagnetization current IVO , in the difference formation of the two measured frequencies f_1 and f_2 the base frequency f_0 drops out, and as the output signal $2\Delta f$ is obtained, which at given premagnetization current IVO is proportional to the premagnetization current change ($2\Delta f - \Delta I$). Therewith a measure of the strength of an external magnetic field is obtained. Therein the base value, the base frequency f_0 , of the oscillator is eliminated.

With the circuit configuration depicted in Figure 2 with magnetic probe SON and an LC oscillator OSZ the field strength is determined. The inductor LS with winding W of the magnetic probe SON is the frequency-determining member of the oscillator OSZ. The two frequencies f_1 and f_2 are measured with a frequency measuring device FME. From the two measured frequencies f_1 and f_2 the frequency difference $f_1 - f_2$ is formed with a succeeding subtractor SUB and displayed as the field strength determined. The rectangular voltage is, for example, generated by the periodic pole reversal of a DC voltage UG by means of the switching element S_1 . Via the preceding resistor RV the voltage is conducted into the oscillator circuit OSZ, and the alternately positive and negative premagnetization DC current IVO generates alternately the frequencies f_1 and f_2 . These are alternately supplied across the switching element S_2 to the two inputs of the frequency measuring device

FME. A clock generator TG controls the periodic pole reversal of the DC voltage UG with the switching element S1 as well as also the change-over switching, synchronously thereto, of the switching element S2. Depending on the switch position, the frequency to be measured is conducted, one time, to the first input of the frequency measuring device FME and, the other time, to the second input of the frequency measuring device FME. The outputs of the frequency measuring device are conducted to the inputs of a subtractor SUB. The latter forms from the measured frequencies f_1 and f_2 the difference $2\Delta f$. In this way the base frequency f_0 is eliminated and only the frequency difference $2\Delta f$ is determined. To increase the measuring certainty and the measuring accuracy the difference $2\Delta f$ can first be formed from several frequency measurements for the frequencies f_1 and f_2 . This determined magnitude of the frequency difference is a function of the field strength of the external magnetic field and is displayed in a succeeding display device ANZ.

Figure 3 shows a circuit configuration for determining the direction of a magnetic field. Herein a magnetic probe SON is employed which permits acquiring both components of a magnetic field, i.e. the field vectors, which are perpendicular to one another. For this purpose the probe comprises two legs, which are at a specific angle, for example perpendicular, with respect to one another, with one winding W1 and W2 each. The driving of this circuit takes place similarly to that in the first embodiment example. The clock generator TG periodically reverses the pole of the DC voltage UG by means of the switching element S1 and connects it across a preceding resistor RV1 by means of the switching element S3 to winding W1 of the probe inductor LS1, and subsequently across a preceding resistor RV2 to the winding W2 of the probe inductor LS2. Here two oscillators OSZ1 and OSZ2 are provided. The probe inductor LS1 is the frequency-determining member of the first oscillator OSZ1, the probe inductor LS2 is the frequency-determining member of the second oscillator OSZ2. The particular output of the oscillators is conducted across the switching element S4 in each instance to the inputs of two frequency measuring devices FME1 and FME2. The switching element S4 is controlled by clock generator

TG synchronously with the switching element S1 and S3.

Figure 4 shows a modified embodiment example according to Figure 3. In this case the four different frequencies f_1 , f_2 , f_3 and f_4 are measured with digital counters DEZ, BIZ and stored in a commercially available second microcomputer MC. This can be, for example, microcomputer SAC 8748 C by Siemens. In the microcomputer MC the frequency differences are formed and therefrom the field direction of the external magnetic field is determined. The second microcomputer MC assumes also the clock control of the switching elements S3 and S5 and the counters DEZ and BIZ.

As in Figure 3, the DC voltage source UG is connected across the switching elements S1 and S3, for one, across the preceding resistor RV1 to winding W1 of the probe inductor LS1 and, for another, across the preceding resistor RV2 to winding W2 of the probe inductor LS2. The inductor LS1 determines the resonance frequencies f_1 and f_2 of the first oscillator OSZ1 as a function of the positive, respectively negative, DC current premagnetization. The inductor LS2 determines the resonance frequencies f_3 and f_4 of the second oscillator OSZ2 as a function of the positive, respectively negative, premagnetization. The pole of DC voltage source UG is reversed with switching element S1, which is clock-controlled by the second microcomputer MC via its output 3. Correspondingly, by the second microcomputer MC via its output 5 is controlled the connecting of the switching element S3 one time to the preceding resistor RV1 and the other time to the preceding resistor RV2. This effects the rectangular voltage to be either connected to the winding W1 or to the winding W2 of probe SON. Each oscillator OSZ1 and OSZ2 comprises an amplifier stage V1 respectively V2, known per se. With the switching element S5 the particular oscillator output is optionally connected across a resistor R3 to a comparator KOM. The switching element S5 is also correspondingly clock-controlled by the second microcomputer MC across the output 5 synchronously with the switching element S3 such that, for example, the resonance frequency f_1 of the first oscillator OSZ1 is measured if the positive half wave of the premagnetization current + IVO flows through winding W1 of inductor LS1, and the resonance frequency f_2 of the first oscillator if the negative half wave of the premagnetization -IVO flows through

winding W1. Subsequently the resonance frequency f_3 of the second oscillator is measured if the positive half wave of the premagnetization current +IVO flows through winding W2 of the second inductor LS2, and the resonance frequency f_4 of the second oscillator OSZ2 if the negative half wave of the premagnetization current -IVO flows through winding W2 of inductor LS2.

The comparator KOM, for example LM311 N by Texas Instruments, converts the sine-form input signals into rectangular signals. These are carried to the input of the decade counter DEZ (for example MC14017 BCLD by Motorola) and to the input of the first flip-flop FF1. The output of the decade counter DEZ is connected to the input of the second flip-flop FF2 and a across a NOT [logic] element G1 to the second microcomputer MC. The output Q of the second flip-flop FF2 leads to the first input of a NAND element G2, which is acted upon at the second input with a clock frequency TAF of, for example, 666 kHz. This clock frequency TAF is generated by the second microcomputer MC and output across its output 2. The output of the NAND element G2 is connected to the binary counter BIZ. This can be a commercially available counter, for example NC14040 BCL by Motorola, with 12-bit binary outputs. To reset the two flip-flops FF1 and FF2 and decade counter DEZ, their reset inputs R are connected to the output S of the second microcomputer MC. The output Q of the first flip-flop FF1 leads to the reset input R of the binary counter BIZ. The binary outputs BA of the binary counter BIZ lead to the corresponding inputs of the second microcomputer MC.

With the reset signal of the second microcomputer MC at its output S the start signal for a measuring cycle is given in order to measure the frequency at the output of the comparator KOM. If, for example, the frequency f_1 is measured, then with the first leading edge of the frequency f_1 the output Q of the first flip-flop FF1 becomes <0> and therewith the reset input of the binary counter <0>. The binary counter BIZ is ready to count. With the first edge of frequency f_1 the binary counter BIZ counts in 666 kHz pulses. With the 10th edge of frequency f_1 at output Q9 of the decade counter DEZ a logic <1> is present which, across the second flip-flop FF2, blocks the

NAND element C2, such that no 666 kHz pulses can reach the binary counter BIZ. At the binary outputs BA of the binary counter BIZ now the number of counted 666-kHz pulses is present counted during 10 periods of frequency f1 in binary code. Since simultaneously with the signal <1> at output Q9 of decade counter DEZ across the NOT element C1 an interruption of the counting process is triggered, the binary value from the binary counter outputs BA is read into the second microcomputer MC and stored.

The frequencies f2 to f4 are measured and stored in the same way in the second microcomputer MC. The field direction determined from the measured frequencies by the second microcomputer is displayed in a display device ANZ succeeding the second microcomputer.